



## Fabricação de estrutura reticular em Ti-6Al-4V por manufatura aditiva

**Palavras-Chave:** Estrutura Reticular, Ti-6Al-4V, Manufatura Aditiva

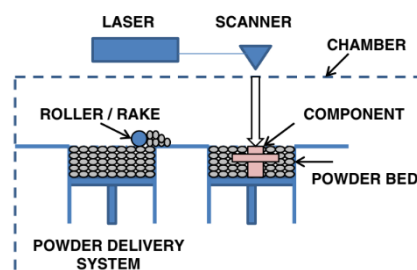
**Autores(as):**

VITTORO EDUARDO FRANQUI OBLITAS, ECA – UNICAMP

Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. JULIANO SOYAMA, DEMM - UNICAMP

### INTRODUÇÃO:

A manufatura aditiva é um meio de processamento de pó metálicos relativamente novo, com várias possibilidades a serem exploradas e muitas pesquisas a serem desenvolvidas ao longo dos anos. No 'Review' de (FRAZIER, 2014) [1] podemos encontrar uma boa quantidade de informações sobre a manufatura aditiva. Por ser um processo novo, é visto no resumo que o processo é bastante caro para produção a larga escala e é normalmente utilizado na indústria aeronáutica, o que torna compensatório o procedimento da manufatura aditiva. Ainda mais, é visto por (REGIS et al., 2015) [2] que a manufatura aditiva se mostrou interessante também na produção de implantes ósseos pelo formato das células criadas pelo processamento do pó, que são o foco dessa PIBIC, as estruturas reticulares ou trabeculares que configuram melhor aderência do osso com o material (Ti-6Al-4V). É possível dividir esse processo em três diferentes métodos, nos quais todos ainda possuem a mesma finalidade, porém, a maneira de derretimento ou fundição do pó é totalmente diferente. São estes: Sistema de Leito de Pó (Powder Bed System ou PBS), Sistema de Alimentação de Pó (Powder Feed System ou PFS) e por último Sistema de Alimentação por Fios (Wire Feed System ou WFS).

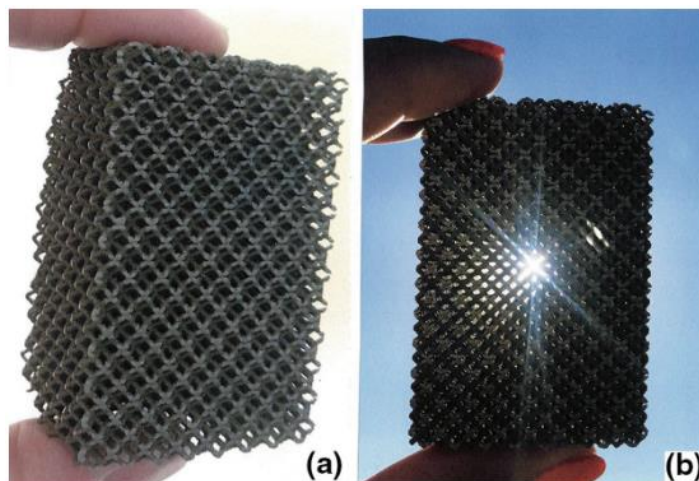


e por último Sistema de Alimentação por Fios (Wire Feed System ou WFS).

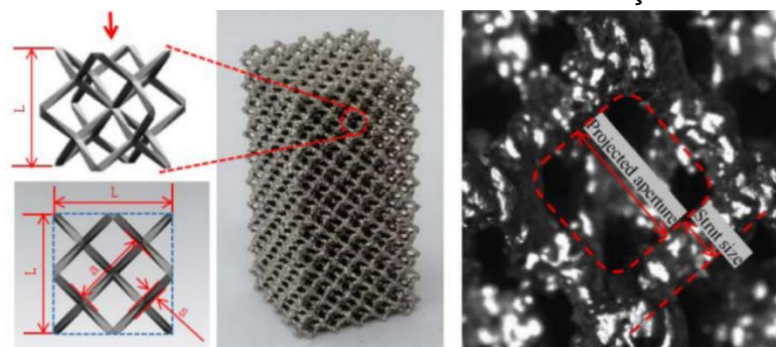
**Figura 1** – Retirado da ref. 1.

As estruturas reticulares são células formadas com várias camadas de formatos geométricos replicados, com alta porosidade (figura 2). Uma das formas estudadas a priori, foi o formato trabecular dessas células, em concordância com (ZHANG et al., 2020) [4], podemos ver alguns exemplos de propriedades mecânicas da forma trabecular de acordo com a espessura dos grãos, tamanho do espaçamento entre as células e a variação e tamanho no formato de 'losango' (figura 3), ainda também existem diferenças entre as estruturas projetadas teoricamente àquelas fabricadas (Tabela 1 e 2).

**Fig. 2** – Células de formas reticulares



Ainda mais, existem várias aplicações de material produzidos na forma trabecular acetabular para o uso de implantes ósseos, principalmente pelas ótimas características mecânicas dessa peça. Com o artigo redigido por (AVERSA et al., 2016) [5], podemos ver o uso da manufatura aditiva na produção desse tipo de equipamento, e também, a sua escolha pela facilidade em se adequar ao osso fraturado e facilitar sua reconstrução.



**Fig. 3** – L, a e s representam respectivamente, tamanho da célula unitária, tamanho da distância entre as paredes, grossura da estrutura.

De acordo com (MARIN et al., 2010) [6] e [4], chegaram em conclusões sobre forma acetabular das formas trabeculares que serão discutidas nos resultados.

## METODOLOGIA:

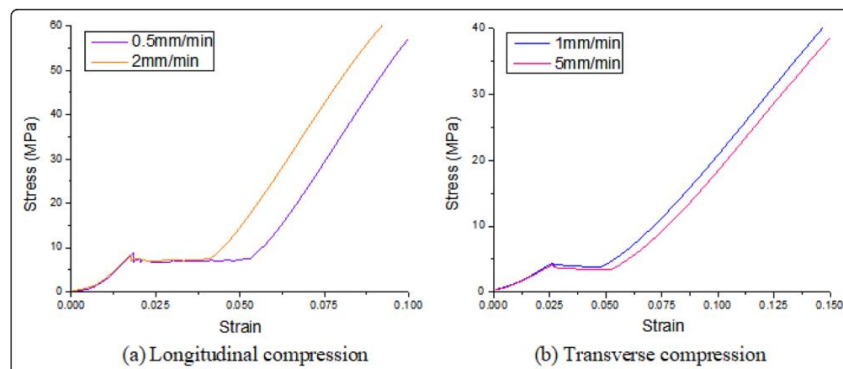
Foi realizada uma pesquisa na literatura em busca das melhores formas a serem selecionadas para realização de simulações em MATLAB, dessa maneira foram encontrados em outros artigos como (MACONACHIE et al., 2019) [7], é possível encontrar várias propriedades relacionando diâmetro da peça, tamanho da célula com força de compressão e módulo elástico que foi utilizado para elaborar uma tabela e escolher mais duas formas candidatas para testes mecânicos, assim como também no artigo de (DONG, 2021) [9], foram selecionadas 7 formas diferentes que podem ser vistas na tabela [3]. Com isso, será realizado simulações ao MATLAB utilizando conhecimento de estática para o cálculo de como a estrutura se comportará aos testes que ocorrerão subseqüente.

Planilha de estruturas reticulares							
Formatos	Tipo de liga	Densidade Relativa (%)	Tamanho da célula (mm)	Diâmetro da estrutura (mm)	Força de Compressão (Mpa)	Módulo Elástico (Mpa)	Referência
BCC	Ti-6Al-4V	7.5 - 39.7	2 - 7.5	0.3 - 1	4 - 124	110 - 2780	[7]
Diamante	Ti-6Al-4V	3.6 - 26.5	-	-	8.2 - 99.64	370 - 4240	[7]
Cúbica Simples	Ti-6Al-4V	19.4 - 36.2	-	0.54 - 0.64	108 - 170	5360 - 8730	[7]
Trabecular	Ti-6Al-4V	60.0	-	1.2	60.0	1120.0	[2]
Octa-Treliça	Ti-6Al-4V	12.2	-	-	54.6	5480.0	[8]
Cuboctaedro truncado	Ti-6Al-4V	20 - 34	-	-	31.7 - 112.6	2180 - 4578	[7]

**Tabela 3** – Dados de formatos reticulares obtidos por outros artigos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Ao seguir as referências [6] e [4], chegam a várias conclusões parecidas para a forma acetabular, porém, aos fatores que são importantes para nossa PIBIC, que é a forma reticular trabecular, encontra-se que seu plano mais fraco é a inclinação de  $45^\circ$  entre a células, o que resulta em um ponto de quebra nos testes de tensão com menor força possível. Por ser um elemento muito poroso, a porosidade em ambos também é calculada com base de uma fórmula proposta no artigo de Marin, o qual utiliza da densidade da liga de alumineto de titânio como base. Já as propriedades mecânicas variam de acordo com o tipo de grão, tamanho e espessura do 'losango', enquanto, alguns testes como de velocidade de compressão pouco alteram os resultados mecânicos [4]. Todos os resultados obtidos por Zhang podem ser vistos na tabela 4, e a pouca diferença mecânica ocasionada pela velocidade de compressão pode ser visto na figura 4.



(Fig. 4 – Velocidade para compressão pouco altera o resultado de uma peça)

Specimen specifications	Maximum Force (N)	Compressive Strength (MPa)	Yield Force (N)	Yield Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (Mpa)
Fine Strut 1.75	8480.09	77.07	8405.78	76.39	659.33
Fine Strut 2.0	8717.44	80.34	8632.83	79.44	628.78
Fine Strut 2.5	4724.88	43.01	4444.3	40.59	548.69
Mid Strut 2.0	3421.05	30.27	3254.2	32.32	437.09
Mid Strut 2.5	5081.16	47.06	5004.23	46.34	545.22

**Tabela 4** – Dados de cada espécime variando tamanho, espessura e tamanho do grão.

Porém, vale ressaltar que essas condições servem apenas para formatos trabeculares, os resultados simulados com outras duas formas selecionadas como a Diamante e Octa-treliça comparecerão ao relatório final.

## CONCLUSÕES:

Com a pesquisa suficiente em toda a literatura, e a partir de alguns imprevistos ao decorrer de nossa IC, conseguimos ter uma base de dados consistente para realização de simulações que ocorrerão brevemente em MATLAB a fim de dar norte para futuras pesquisas em buscas das propriedades mecânicas. As estruturas reticulares ainda são estruturas pouco estudadas e com baixa quantidade de material teórico com muitos tipos de estruturas, pois, como ela pode ser formulada apenas com uma única geometria replicada em diversas camadas, pode-se surgir novos estudos voltados a tipos geométricos não convencionais. Acredito que esse ramo é um plano a ser muito explorado.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] FRAZIER, W. E. **Metal additive manufacturing: A review**. *Journal of Materials Engineering and Performance* Springer New York LLC, , 2014.
- [2] REGIS, M. et al. Additive manufacturing of Trabecular Titanium orthopedic implants. *MRS Bulletin*, v. 40, n. 2, p. 137–144, 12 fev. 2015.
- [3] SAMES, W. J. et al. **The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing**. *International Materials Reviews* Taylor and Francis Ltd., , 2016.
- [4] ZHANG, C. et al. Mechanical behavior of a titanium alloy scaffold mimicking trabecular structure. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, v. 15, n. 1, 7 fev. 2020.
- [5] AVERSA, R. et al. Flexible stem trabecular prostheses. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 9, n. 4, p. 1213–1221, 2016.
- [6] MARIN, E. et al. Characterization of cellular solids in Ti6Al4V for orthopaedic implant applications: Trabecular titanium. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 3, n. 5, p. 373–381, jul. 2010.
- [7] MACONACHIE, T. et al. **SLM lattice structures: Properties, performance, applications and challenges**. *Materials and Design* Elsevier Ltd, , 5 dez. 2019.
- [8] DONG, L. Compressive responses of snap-fit Ti-6Al-4V octet-truss lattices in structure's stiffest direction. *Materials and Design*, v. 208, 1 out. 2021.